关于模块化 UPS 供电系统的分析与应用

乔 黎
（新华社通讯技术局，北京 100803）

摘 要：文章介绍了模块化 UPS 的特性及应用。并从工作原理、供电可靠性、易扩容、易维护等方面分析了模块化 UPS 的优势，说明了中小型数据中心采用模块化 UPS 供电系统的解决方案。介绍了模块化 UPS 供电系统在新华社程控机房的实际应用。

关键词：模块化 UPS；工作原理；热插拔；优势分析；应用 **中图分类号：**TN986 **文献标识码：**A
文章编号：1671-0134（2021）09-147-04 DOI：10.19483/j.cnki.11-4653/n.2021.09.048
本文著录格式：乔黎 . 关于模块化 UPS 供电系统的分析与应用 [J]. 中国传媒科技，2021（09）：147-149，79.

导语

模块化 UPS 是全新一代的机房基础架构解决方案，同时可满足绿色、高效、易扩容、易维护等的需求，采用模块化设计理念，实现机房基础架构的快速建设和智能管理。近年来，模块化 UPS 技术日益成熟，越来越多的中小型数据中心已规模使用模块化 UPS。模块化 UPS 是在一个机柜内安装几个小功率模块，可根据用户需求配置不同数量的功率模块满足负载的功率需求，实现系统冗余功能，较传统塔式 UPS 在可用性、可靠性、易扩容、易维护性等方面有明显优势。模块化 UPS 电源作为保障供电稳定性和连续性的重要设备，已广泛应用到各个领域。程控机房设备均由市电供电，缺少 UPS 电源保障，现完成了新华社九号楼程控机房配电系统的改造，新立配电柜，并为程控机房配置模块化 UPS 电源，为程控机房交换设备提供了可靠的用电保障。

1. 模块化 UPS 的构成、工作原理及优势

1.1 模块化 UPS 的构成

模块化 UPS 主要是由机框、UPS 功率模块、控制模块、静态开关模块、显示通信模块以及电池组构成。模块化 UPS 是用若干个独立的高频 UPS 功率模块叠加而成，各模块并联输出，模块化 UPS 的总容量等于各个功率模块容量之和。同时，旁路开关部分及总的控制部分也模块化，并且控制模块可以一主一备，冗余配置。这样一个个模块叠加在机框中就构成了一整台模块化 UPS。

模块化 UPS 中的功率模块是 UPS 的主要模块，每个模块都是由逆变、整流、功率因数校正、充电和相关的控制电路组成，所有功率模块均可在线热插拔安装更换。模块化 UPS 的优越性之一是控制模块也可以主备配置，可由两块冗余的可热插拔的控制模块来完成对系统的控制管理。一个控制模块故障不会影响到系统的正常工作，消除了控制部分的单点故障隐患。控制模块集中管理功率模块的并联控制，按照统一的并机参数运行，一个功率模块故障可自动的退出并联系统，不会对整个并联系统造成危害。[1]

静态旁路模块是由双向可控硅和控制电路组成，当 UPS 出现故障无法输出电源时，静态旁路模块则可自动切换为市电供电。监控模块可以实时监看 UPS 系统的工作状态、采集和存储 UPS 系统的运行参数。并且还能进行故障记录存储以及对故障进行分析，作为人机对话和网络化监控的平台。

1.2 模块化 UPS 的工作原理

模块化 UPS 工作原理如图 1。

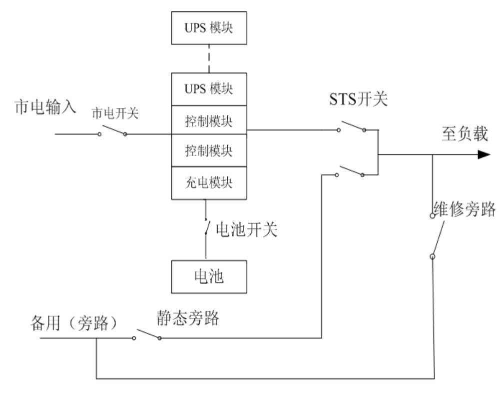


图 1 模块化 UPS 工作原理

UPS 模块通过整流电路将交流电变换为直流电，当市电正常时，为蓄电池组持续充电，UPS 模块中的逆变电路将直流电逆变为同频同相的交流电源为负载供电。当市电中断、缺相或过载时，由蓄电池经过逆变器逆变后向负载提供电源；当逆变器故障或蓄电池电压降低至门限电压时，静态开关瞬间切换至旁路工作状态，由备用电源直接向负载供电。

当 UPS 工作在旁路工作状态时，可以将维修旁路开关合上，负载由备用电源经过维修旁路供电，这时可以断开 UPS 市电开关和静态旁路开关，对全部 UPS 模块、充电模块及蓄电池组进行维修维护。当静态开关过载或其他原因造成切断时，值班人员可以采取紧急操作，手动切换至维修旁路供电，避免负载长时间停电。

热插拔技术是模块化 UPS 的关键技术。UPS 各模块

之间的并联控制采用分散式逻辑控制方式，没有主机与从机之分，任何一个模块拔出或插入均不会影响其他模块的正常工作，按需构成 N+I 或 N+X 冗余系统，可以允许任何单个模块在不需停电的前提下任意投入或撤出并联单元，从而实现了并联系统的在线维护。[2] 提高系统的可靠性，使负载受 UPS 保护时间全面提升。

1.3 模块化 UPS 的优势

相对于传统意义上的 UPS，模块化 UPS 采用了高智能模块化设计，在线热插拔技术实现在线更换、在线维护，降低了维护难度，具体优势分析如下。

第一，功率模块易于实现冗余。通过叠加功率模块即可实现冗余，例如，当 UPS 总功率减去负载率的值大于单个模块的功率，几个实现功率模块的冗余，大于 X 个模块的功率，即可实现“N+X”冗余，当有功率模块故障时，也可保证系统的继续运行，从而保障设备的稳定持续供电。[2]

第二，控制主机有冗余。模块化 UPS 配置了双冗余的控制模块，冗余的 CAN 控制总线，彻底消除了控制部分的单点“瓶颈”，冗余式设计实现真正意义的热插拔功能。

第三，易维护性。传统塔式 UPS 的每个 UPS 功率模块多采用电缆或铜排通过螺钉紧固连接，更换维护时工作量较大，耗时长且检修时必须切换到维修旁路工作模式，但维修旁路工作模式时负载由市电供电，负载不通过 UPS 电源保护。模块化 UPS 采用了热插拔技术，允许单个模块在 UPS 电源持续供电的情况下，插入或退出并联单元，这种热插拔技术实现了并联系统的在线维护，大大减少 MTTR（平均故障修复时间）。故障时拔出并更换模块即可完成维修，维修时间非常短，维修非常方便。

第四，易扩容。模块化 UPS 系统扩容更为简单，只要系统建设之初留好扩容的模块安装位置，输入输出配电开关电缆总容量许可，将新增模块直接插入系统，并设置开机即可使用，所费时间较传统塔式 UPS 少。使用模块化 UPS 可以实现“边成长边投资”的模式，即用户可以在初始建设时购买较少的功率模块，在用户设备增加的情况下，再增加功率模块进行扩容，扩容简单易行，可以帮助用户对 UPS 电源分阶段进行规划设计和建设，节约成本、提高 UPS 电源使用效率。

2. 模块化 UPS 在新华社九号楼程控机房的应用

2.1 新华社九号楼程控机房配电系统

新华社九号楼程控机房服务于新华社程控交换及电视电话会议等系统业务。现完成了九号楼程控机房配电系统的改造，为机房设备配置了两台容量不低于 100KVA 的模块化 UPS 电源，为程控机房各个机柜提供了可靠的 UPS 电源。供配电系统新立了四面市电配电柜：一面市电输入柜、一面 UPS 输入配电柜及两面市电输出柜。市电输入柜中包括两路市电及一路柴油发电机输入，三路电经两个 ATS 转换互为备用输出。机房的供电系统配电方案如图 2 所示。

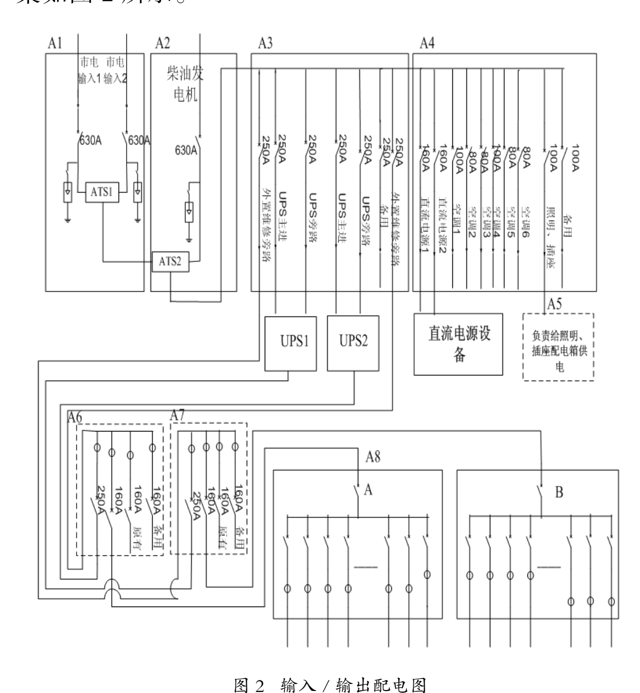


图 2 输入 / 输出配电图

注：上图 A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7、A8 每个线框代表一个配电盘。

两面市电输入配电柜。配电柜 A1 中装两路 630A 开关，一个 PC 级的 630A ATS，该 ATS 为带双旁路自动转换开关，作为两路市电的切换开关；配电柜 A2 中装一路 630A 开关，一个 PC 级的 630A ATS，作为 A1 配电柜输出与柴油发电机的切换开关。

配电柜 A3 作为 UPS 的输入配电柜，安装 4 个 250A 的输入开关，作为两台 UPS 的主路与旁路输入，外加一路 250A 备用开关，另，安装两路 250A 开关分别作为两台 UPS 的外置维修旁路。

配电柜 A4 作为市电输出配电柜，安装两个 160A 开关，作为机房现有直流电源的输入；安装两个 100A、四个 80A 开关，作为机房空调及一层原有配电箱等输入；安装一个 100A 开关，为 A5 配电箱供电；外一路 100A 备用开关。

机房设计采用市电输出柜作为动力配电柜，负责 UPS 机房、程控机房专用空调、照明、新风和辅助插座的供电。配电柜 A4 作为市电输出配电柜，为程控机房直流电源、一层及负一层机房空调、现有两个负一层照明配电箱及一层照明、新风及机房插座配电箱的市电输入。

配电系统采用交流 50HZ，三相五线制 380V/220V。接地系统采用 TN-S 方式，零线和地线分开设置。动力配电柜由开关设过负荷、短路保护等功能，并设有电流、电压显示。

配电柜 A5 是负责照明、新风和辅助插座供电的市电配电箱。

2.2 模块化 UPS 电源系统

目前机房交流设备功率约20KW，直流电源设备功率约20KW（未来负载将倒接至UPS输出）。如有建设项目将有存储、服务器等四个机柜的设备用电量约16KW，共需UPS电源56KW，UPS的最优带载率是20%—70%，因此需配置总容量不小于100KVA，并且有冗余设计的UPS电源。本系统为机房配置了两台模块化UPS电源，为负载提供双路电源。每台UPS电源总框架可达容量200KVA，共可配置4个50KVA功率模块，该项目根据实际需求，初期配置了3个50KVA功率模块，单台UPS容量为150KVA，且功率模块满足2+1冗余，实际可使用容量为100KVA。未来可根据需求进行扩容至单台200KVA，只需增加一个功率模块即可，可实现在线扩容。功率模块、智能控制模块、静态旁路模块均可热插拔，模块易于安装和拆卸，极大降低了现场的维修时间。

配置两面UPS输出配电柜A6、A7，每个UPS输出配电柜中装有一路225A开关、三路160A的开关。其中，两路160A开关所控线路为机房内列头柜供电，其他开关作为备用。在程控机房内配置一面列头柜A8，分A面、B面两面，列头柜AB面内输出开关数量分别不少于40个，输出至各个机柜。列头柜至设备机柜内PDU段要求使用4平方毫米电缆。

列头柜采用自动空气开关控制，设过负荷及短路保护，同时具有独立的零地汇流排。要求配电柜在机房区域活动地板下为所需机柜分别配置两路UPS供电的工业连接器，并为机柜配置PDU。

为UPS建设一套监控系统，实时监测在运行的两台UPS电源的工作状态、运行参数等数据，并且在发生故障时可通过监控平台进行报警。监控系统是通过UPS设备自带的SNMP等通信接口和通讯协议，将UPS的数据信号通过局域网络传输至监控服务器，由监控平台软件对UPS的输出电压、电流等数据进行实时监测。UPS故障时，通过模拟图对应部分画面闪烁、颜色改变等方式提示故障点，并有对应语音告警。且UPS有干接点报警连接声光报警。

本项目两台UPS采用的模块化UPS电源智能控制模块有冗余，一个控制模块故障，有备份模块启用，不影响整个机器使用；每个模块内的控制单元有冗余；模块间通信线路有冗余，为双通信线路。

本项目配置的每台UPS包含部件：整流器、逆变器、静态旁路、手动维修旁路、监控接口等。UPS逆变器采用IGBT功率模块，谐波放射满足国际IEC标准。UPS采用可靠的静态旁路开关，保证当UPS内部故障时不间断地切换到旁路电源上供电。标配主路输入、旁路输入输出及手动维修旁路开关，维修时负载供电不间断。UPS具有通信接口，通过该接口可对UPS设备的工作参数与工作状态进行远程监控，具有故障诊断功能。

UPS采用DSP数字控制技术，确保系统的安全稳定；配有LCD液晶显示屏幕，以菜单方式显示设备技术参数及报警信息；具有人机对话功能，可以通过面板或远端控制器实现对重要工作参数的显示和调整；具有软启动功能，并机系统可顺序逐台启动；UPS每个模块内的风扇均采用冗余设计，在工作温度下任何一台风扇故障不影响UPS的正常运行。每台UPS都配置独立的蓄电池组，电池容量后备时间满载30分钟，对蓄电池有限流充电的能力，有温度补偿功能，可根据UPS负荷大小和电池温度来调整充电电流；UPS具有过放电保护，当蓄电池组达到其放电低电压极限时，UPS可自动关断。电池开关使用纯直流断路器作为UPS和电池组的连接。当该断路器断开时蓄电池与整流器/充电器及逆变器完全隔离。并包括脱口器及辅助触点，在开关意外脱扣的情况下，系统能够提供报警。电磁兼容标准：EMC达到EN50091—2和IEC61000–4系列A级标准。

本项目中UPS输入允许的技术指标：电压输入范围：380V±15%；频率输入范围：50HZ ±10%；输入功率因数：不小于0.90（满负载）；输入电流谐波失真量应<5%。输出符合以下技术指标：输出波形：正弦波；输出电压：三进三出：380V；三进单出：220V；频率输出范围：50HZ±0.1%；过载能力：150% 1分钟，125% 10分钟；线性负载电压谐波失真度：<2%；非线性负载电压谐波失真度：<6%；峰值因数：3：1；输出功率因数：≥0.9；电压稳定性：瞬态变化小于5%；瞬态响应时间小于10ms；带载能力：100%负载下至少运行2小时；工作环境：连续高温运行：40℃≥8h，最大相对湿度：95%；可闻噪声：＜70DB（离机器距离1米远）；其他参数：可带100%三相不平衡负载；当输出过载超过150%时，UPS应能自动切换到旁路，一旦输入电源恢复正常，能迅速回到UPS的正常工作状态供电；整机效率：双转换模式下不低于90%；逆变旁路切换时间＜4ms；可靠性：单机MTBF＞10万小时；可与发电机匹配，需匹配的发电机功率不应大于UPS启动功率的1.5倍。

配电柜三路电之间切换采用双电源自动转换装置ATS，具备主、备输入电源失压、断相、欠压、过压检测及自动、延时（连续可调）转换功能；可设置任一路为主用电源，可做自复/不自复选择。所有元件均应由非吸湿和非燃性材料制成。配电柜柜体形式为固定分隔式。配电柜内导线应为低烟、无卤阻燃型产品，母线必须与开关容量匹配以满足应承载的电流，同时还应满足低压开关柜所承受的动稳定和热稳定要求及所连接的元件种类等因素的要求。断路器选用额定运行短路分断能力极限分断能力不小于65KA/400—415V AC，且Ics=100%Icu。断路器设有分、合闸操作状态指示标志，用以指示断路器的分、合状态。市电输入输出配电柜、UPS输入输出配电柜有开关的电压电流功率等电量液晶显示表。每路80A及以上开关都配辅助接点，可接入监控系统。支持MODBUS或SNMP协议，并通过通信接口上报，满足配电柜接入机房动环管理系统统一管理要求。

（下转第79页）